

ПОТЕНЦІЙНІ МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОЄМНІСНОГО МЕТОДУ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ В СФЕРІ ЦИВІЛЬНОГО РОЗМІНУВАННЯ

*Овчарук С.А., Баженов В.Г.,
Національний технічний університет України «Київський політехнічний
інститут ім. Ігоря Сікорського», м. Київ*

Анотація. У статті розглянуто сучасний стан проблеми розмінування вибухових зарядів та пристроїв з мінімальним або відсутнім вмістом металів, проаналізовано можливість та перспективи використання електроємнісного методу неруйнівного контролю як окремого або допоміжного методу для задач розмінування, проведено аналітичний огляд проведених та визначено проблематику наступних досліджень у цьому напрямку.

Вступ. На сьогодні гостро стоїть питання швидкого, безпечного та ефективного розмінування територій від наслідків бойових дій. Найбільш розповсюдженим інструментом для виявлення наземних мін є металошукач. Однак моделі багатьох мін вироблені з мінімальним або нульовим використанням металу, що ускладнює або унеможливує їх детектування цим методом. Як альтернатива металошукачам у таких випадках часто використовується технологія з використанням георадару (англ. GPR - Ground Penetrating Radar). Ця технологія полягає у випромінюванні електромагнітних хвиль високої частоти (одиниці гігагерц) та реєстрації відбитого сигналу. Даний метод дозволяє отримати результати сканування відносно високої точності, однак його недоліками є складність інтерпретації отриманих результатів, особливо результатів сканування приповерхневого шару без попередньої підготовки ґрунту, та значний вплив вологості та структури ґрунту на ефективність використання технології [1], [2].

Найбільш ефективними засобами розмінування вважаються комбіновані системи що працюють з використанням обох технологій - металодетектора та GPR [1], [2]. Такі системи здатні сканувати ґрунт за допомогою цих двох методів як одночасно так і окремо. Однак ті обмеження, що накладаються на використання GPR для знаходження вибухових пристроїв з відсутнім та малим вмістом металів, знижують достовірність сканування та підвищують ризики, пов'язані із здоров'ям та життям людей, тому знаходження допоміжних чи альтернативних методів для цієї задачі є актуальним. Альтернативним або допоміжним до технології GPR для цих задач може стати електроємнісний метод.

Суть електроємнісного методу. Суть електроємнісного методу полягає у реєстрації зміни просторового розподілу електричного поля, що проходить крізь об'єкт контролю (ОК). Ці зміни визначаються шляхом вимірювання електричного заряду, що індукується цим полем на вимірювальному електроді перетворювача. Наявність нерівномірності в матеріалі ОК у вигляді певного об'єму (тіла) з діелектричною проникністю, що відрізняється від діелектричної проникності матеріалу ОК, викличуть зміни в просторовому розподілу поля, що в свою чергу спричинить зміну величини індукованого заряду на електроді перетворювача. Так як частота зміни поля мала (зазвичай до одиниць мегагерц), магнітною складовою поля можна знехтувати, тому таке поле називають квазі-електростатичним [3].

Електроємнісний перетворювач для одностороннього сканування має вигляд розгорнутого плоского конденсатора, між пластинами якого знаходиться ОК (рис. 1). Зміна сумарної діелектричної проникності середовища між пластинками цього конденсатора за рахунок наявності нерівномірності в зоні сканування може також

розглядатися як зміна електричної ємності конденсатора, тому метод називають електроємнісний (або просто ємнісним).

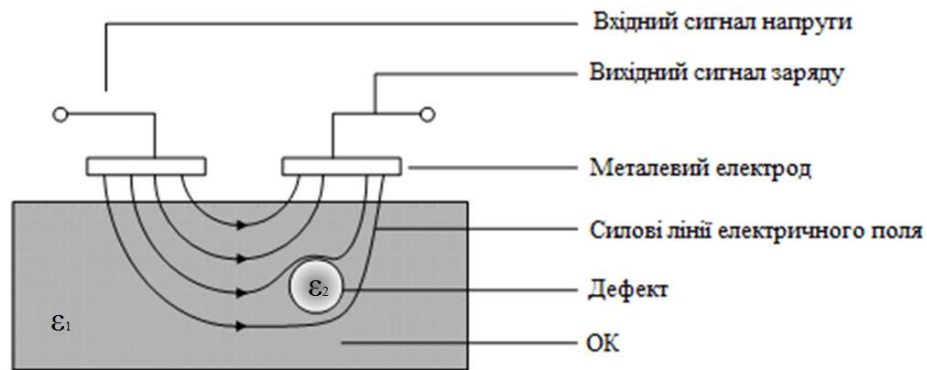


Рис. 1. Схематичне зображення процесу вимірювання електроємнісним методом

Таким чином, вимірюючи величину зміни індукованого електричного заряду на вимірювальній обкладці такого перетворювача можливо досліджувати ОК на наявність нерівномірностей (дефектів) у його структурі, однак лише якщо ці рівномірності характеризуються діелектричною проникністю, відмінною від матеріалу ОК. Для задач розмінування об'єктом контролю є ґрунт, а дефектами (нерівномірностями) є вибухові пристрої (міни).

Огляд стану проблеми та досліджень даного напрямку. Вперше метод одностороннього сканування електроємнісним перетворювачем в рамках неруйнівного контролю було розглянуто в роботі [3]. В цій роботі були описані принципи підходу, проведені перші експерименти зі сканування електропровідних та діелектричних зразків на наявність дефектів, зроблено висновки щодо можливих сфер застосування даного методу. Однак застосування даного методу для задач розмінування не розглядалося.

В дослідженні [4] проводиться ширший розгляд застосування плоских електроємнісних перетворювачів різної форми та конструкції для сканування ОК, виготовлених з декількох діелектричних матеріалів, включаючи композити та бетонні конструкції, та декількох електропровідних матеріалів – алюмінієва і сталеві пластини та сталеві труби. Також в цій роботі аналізується вплив на результати вимірювання дефектів різної форми та вплив форми та геометричних розмірів перетворювача і частоти сигналу на глибину виявлення дефекту. Дослідження проводились як експериментально так і зі застосуванням комп'ютерного моделювання для розрахунку розподілу електростатичного поля в ОК в залежності від типу перетворювача. Результати показують, що глибина виявлення дефекту не залежить від частоти сигналу, а лише від розмірів дефекту, конструкції перетворювача та діелектричних властивостей матеріалу ОК. Цікавим також в даній роботі є експерименти з дослідження можливості комбінувати електроємнісний перетворювач з вихрострумовим з роздільними котушками, вимірюючи ємність між цими котушками. Дане дослідження має ознайомчий характер з можливостями використання техніки ємнісного сканування (capacitive imaging) ОК, описують основні практики для отримання найліпших результатів сканування та обґрунтовують основні проблеми даного методу. Методології підвищення точності результатів вимірювання, систематизація характеристик впливу дефектів різного типу на результати вимірювання та дослідження можливості використання даного методу для цивільного розмінування не є частиною даних досліджень та пропонуються як тематика для наступних робіт.

Схожим на попереднє є дослідження [5], в якому було використано перетворювачі тієї ж форми, що і в [4], але з додатковим екрануванням. Сканування тут

проводилось для алюмінієвої пластини з поверхневими штучними дефектами та пластини з вуглецевого волокна з отворами. Додатково проводилось сканування металевої труби з корозією з метою вивчення впливу наявності корозії на результати сканування. У даному дослідженні так само як і у попередньому, не розглядалося питання застосування методу для розмінування.

В дослідженні [6] було розглянуто загальні проблеми розробки конструкції та розрахунку ефективності електроємнісного перетворювача, виділено 3 основні режими роботи перетворювача: режим передачі, режим шунта і одноелектродний режим. Для дефектоскопії використовуються режими передачі (принаймні 2 електроди - один випромінює, другий вимірює, ОК не заземлений) та шунта (режим передачі, але з заземленим ОК). Також в дослідженні були розглянуті перетворювачі різної форми та виконано порівняння їх чутливості шляхом моделювання розподілу електричного поля. Один із експериментів проводився з метою визначення найбільш чутливого режиму роботи перетворювача при виявленні електропровідного тіла у матеріалі ОК. У цьому експерименті об'єктом детектування слугувала мідна пластинка, занурена у клейку масу, сканування відбувалося з використанням перетворювача з електродами прямокутної форми. Згідно з результатами, найвища чутливість досягається з використанням режиму шунта. Використання методу для розмінування також не розглядалось.

Новий підхід до створення конструкції електроємнісного перетворювача розглянуто в роботі [7]. В даному дослідженні розроблено і запропоновано перетворювач у вигляді матриці електродів, по аналогії з методикою електроємнісної томографії (ЕСТ), для побудови 3D-зображення приповерхневої структури ОК. Такий підхід, згідно з результатами дослідження, дозволяє підвищити точність та глибину сканування шляхом проведення ряду почергових вимірів в одній точці сканування, змінюючи комбінацію пар скануючих електродів. Проте такий підхід також збільшує і час проведення одного сканування.

Наступне дослідження [8] базується на попередньому [7] і розглядає використання перетворювачів такого ж матричного типу але п'яти інших конструкцій. Метою цього дослідження є підвищення чутливості електроємнісного методу для задач розмінування. Як і у дослідженні [7], підвищення точності результатів сканування досягається завдяки проведенню вимірювання за різних комбінаціях електродів перетворювача в одній точці сканування. Однак у даній роботі не розглядається питання розрізнення конкретного типу виявленого об'єкта в залежності від його форми, глибини залягання та електричної провідності, а лише досліджується найбільш ефективна в плані чутливості конструкція перетворювача. Також у дослідженні не проводились експерименти, лише математичні моделювання.

Дослідження [9] є продовженням попередньої роботи. У цьому дослідженні були проведені експерименти з розробленим авторами комбінованим перетворювачем. Згідно з результатами експериментів, завдяки цьому перетворювачу авторам вдалося виявити пляшку з водою, закопану в піску на глибині 50 мм. Розміри самого перетворювача, що використовувався в цій роботі, складають 100×100 мм. Експерименти з предметами, закопаними в ґрунті в рамках цього дослідження не проводилися.

Висновки. Отже, розглянувши існуючі наукові роботи за даним напрямком, можна виділити завдання для наступних досліджень, які ще не були вирішені:

- 1) дослідження методів мінімізації обмежень, що накладаються на електроємнісний метод властивостями ґрунту (вологість, нерівність поверхні, і т.д.);
- 2) оцінка точності розрізнення конкретного типу виявленого об'єкта (міни) в залежності від його форми, розмірів, діелектричних характеристик матеріалів об'єкта, його орієнтації та глибини залягання;

3) дослідження використання диференціальної схеми вимірювання та відповідного алгоритму побудови зображення результатів сканування, вплив такого підходу на чутливість методу;

4) експериментальні дослідження впливу рослинного покриву, вологості та структури ґрунту на результати сканування електроємнісним методом;

5) дослідження обмежень використання електроємнісного методу у комбінації з георадаром (GPR).

[1] Cardona, L., Jimenez, J., Vanegas, N., (2013). *Landmine Detection Technologies to Face the Demining Problem in Antioquia*, Dyna, vol. 81, cc. 115–125.

[2] Tesfamariam G., Mali D., (2012). *GPR Technologies for Landmine Detection*, International Journal of Computing Science and Communication Technologies, VOL.5 NO.1, pp. 768-774.

[3] G. G. Diamond and D. A. Hutchins, (2006). *A new capacitive imaging technique for NDT*, Proceedings of European Conference on NDT, Berlin, Germany, pp. 1–8.

[4] X. Yin and D. A. Hutchins, (Jul. 2010). *Capacitive imaging technique for NDE*, presented in the 37th Annual Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation (QNDE) conference, San Diego, US, 18-23.

[5] Liu, Z., Liu, H. (March 2017). *Experimenting Capacitive Sensing Technique for Structural Integrity Assessment*, Industrial Technology (ICIT) IEEE International conference, At Toronto, ON, Canada.

[6] Xiaohui Hu Wuqiang Yang, (2010). *Planar capacitive sensors – designs and applications*, Sensor Review, Vol. 30 Iss 1 pp. 24 – 39.

[7] Ye, Z., Banasiak, R. & Soleimani, M., (2013). *Planar array 3D electrical capacitive tomography*, Insight, 55(12), 675-680.

[8] Tholin-Chittenden, C., Soleimani, M. (Sept. 2016). *Planar Array ECT Sensor Design Optimisation*, Materials of 8th World Congress on Industrial Process Tomography, At Iguassu Falls, Brazil.

[9] Tholin-Chittenden, C., Soleimani, M. (2017). *Planar Array Capacitive Imaging Sensor Design Optimisation*, IEEE Sensors Journal, 99, 1558-1748.